

УДК 615.831.7

О. Г. Шмендель, аспірантка гр. ПБ-82ф, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛА У ВЕРХНІХ ШАРАХ ШКІРИ ПІД ВПЛИВОМ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. Необхідність досліджень взаємодії лазерного випромінювання з біологічними тканинами (БТ) аргументована популяризацією застосування лазерного випромінювання (ЛВ) та лазерної терапії (ЛТ) у багатьох сферах медицини та косметології. Найбільш поширеними сферами застосування ЛТ є дерматологія та косметологія, що генерує запит на ґрунтовні прикладні дослідження процесів проходження ЛВ крізь шари шкіри та формування відклику тканинних шарів на дану дію.

Ключові слова: лазерне випромінювання, шкіра, епідерміс, симуляція, модель.

ВСТУП

З попередніх досліджень [1,2] відомо, що реакція біологічної тканини на дію ЛВ супроводжується оптичними та тепловими ефектами з диференціальним виділенням теплової енергії БТ. Тому потреба в глибинному розумінні протікаючих процесів комплексної взаємодії лазерного променя з структурами БТ вимагає досконально візуалізувати етапи розподілу тепла в поверхневих шарах шкіри. Для наглядної візуалізації був змодельований процес розподілу теплової енергії під впливом ЛВ в площинних та глибинних шарах БТ, а саме шкіряному покриві кінцівки руки людини, з урахуванням процесів в трьох верхніх поверхневих шарах шкіри: роговий шар, епідерміс та дерма.

ПРОЦЕС СИМУЛЯЦІЇ

Умовна модель шкіряного покриву людини із використанням дії лазерного променя, що переносить енергію E , інтенсивності $I(t)$ та щільності потужності P , яка частково відбивається від поверхні рогового шару, проходить через роговий шар, епідерміс та дерму, розсіюючись, абсорбуючись та поглинаючись цими шарами, віддаючи при цьому свою енергію.

Частина цієї енергії перетворюється в теплову енергію в процесі взаємодії з клітинами та волокнами біологічної тканини. Змінюється температура біологічної тканини в зоні дії лазерного променя. Цей процес взаємодії із застосованими параметрами зображений на «Рис.1» [3]:

Процеси дослідження та моделювання взаємодії ЛВ з живою біологічною тканиною із симуляцією були виконані у програмі RPSMES в Лодзькому технічному університеті на фізичному факультеті в 2019 році (Республіка Польща).

Були задані параметри низькоінтенсивного терапевтичного лазерного випромінювання у «Табл.1», що взаємодіє з живим біологічним об'єктом - шкіряним покривом верхньої кінцівки людини (кисть руки) з врахуванням товщини кожного шару її шкіри та коефіцієнту теплопровідності для цих шарів шкіри, що приведені у «Табл.2».

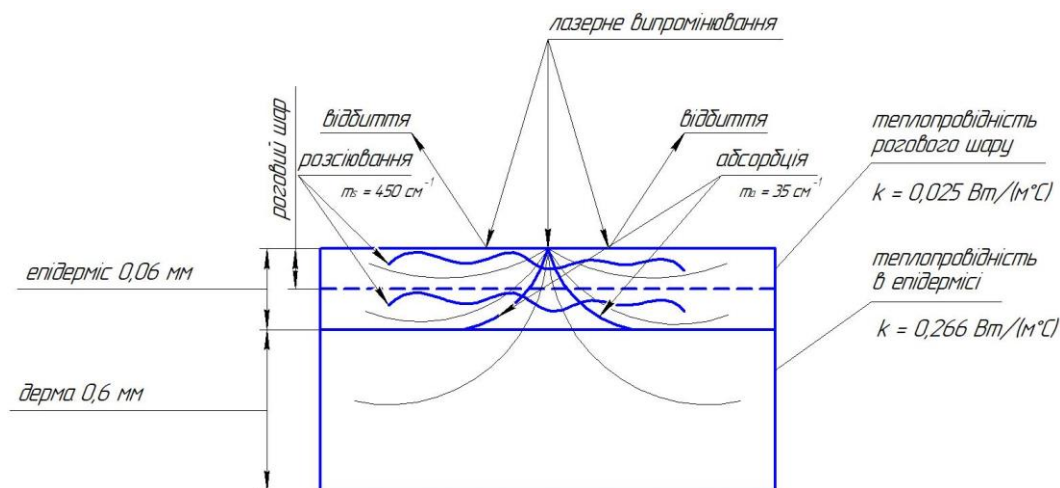


Рисунок 1. Фізична модель впливу ЛВ на БО

Для симуляції застосовувалися наступні параметри лазерного випромінювання:

Таблица 1. Параметри ЛВ

| № п/п | Назва параметра | Значення | Одиниця вимірювання |
|-------|---------------------------------|----------|---------------------|
| 1 | Довжина хвилі | 633 | нм |
| 2 | Щільність потужності ЛВ | 20 | мВт |
| 3 | Діаметр пучка лазерного променя | 2 | мм |
| 4 | Час взаємодії (впливу) | 10 | хв |

При симуляції було враховано коефіцієнт генерації метаболічного тепла, що розраховується за формулами 1 та 2, коефіцієнт теплопровідності та густина БТ [4-6]. Використані дані внесені в «Табл.2»:

Таблица 2. Параметри шкіри

| № п/п | Назва параметра | Шар шкіри | Значення | Одиниця вимірювання |
|-------|--|-------------|--------------------|---|
| 1 | Коефіцієнт генерації метаболічного тепла | Роговий шар | $1,592 \cdot 10^8$ | $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ |
| | | Епідерміс | $2,653 \cdot 10^7$ | |
| | | Дерма | $2,653 \cdot 10^6$ | |
| 2 | Коефіцієнт теплопровідності | Роговий шар | 0,19 | $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ |
| | | Епідерміс | 0,24 | |
| | | Дерма | 0,45 | |
| 3 | Густина | Роговий шар | 1000 | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ |
| | | Епідерміс | 1200 | |
| | | Дерма | 1200 | |

Об'єктна модель кисті руки умовно була задана у вигляді циліндричної області, відповідно до принципу Сен-Венана, і розраховувалася за допомогою формули:

$$V = \pi R^2 h \quad (1)$$

де R – радіус об'єкта та h – товщина шару шкіри.

Це дало можливість розрахувати генерація метаболічного тепла в шарах шкіри для кожного шару шкіри за допомогою формули:

$$q_{meat} = P / V \quad (2)$$

де P – щільність потужності ЛВ

У кодах програми були занесені всі попередньо зазначені параметри «Табл.2» для кожного шару окремо і потім об'єднано в одну циліндричну модель біосередовища, що складається з трьох шарів «Рис.1». Обрана для моделювання ділянка руки має невелику кількість капілярів та судин, тож вплив кровотоку на результати симуляції низький і не враховувався у процесі моделювання. Похибка моделювання не перевищувала 7,4%.

На «Рис.2» зображено процес поширення тепла в моделі біосередовища, зміна значень температур зазначена в градусах Кельвінах.

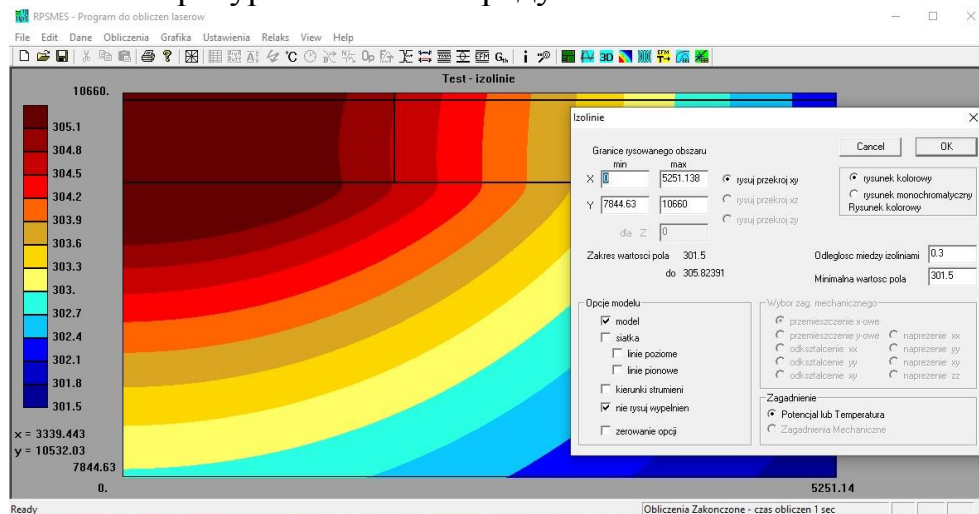


Рисунок 2. Процес поширення тепла

Процес моделювання показав, що розподіл тепла відбувається у всіх трьох шарах шкіри, які ми розглядаємо, досить активно.

На «Рис.3» побудовано графік зростання температури у верхніх шарах шкіри. Закономірність зростання температури близька до експоненційної залежності [4]. Графік побудований у програмі RPSMES на основі даних отриманих у результаті симуляції процесу поширення тепла в живій біологічній тканині під впливом ЛВ.

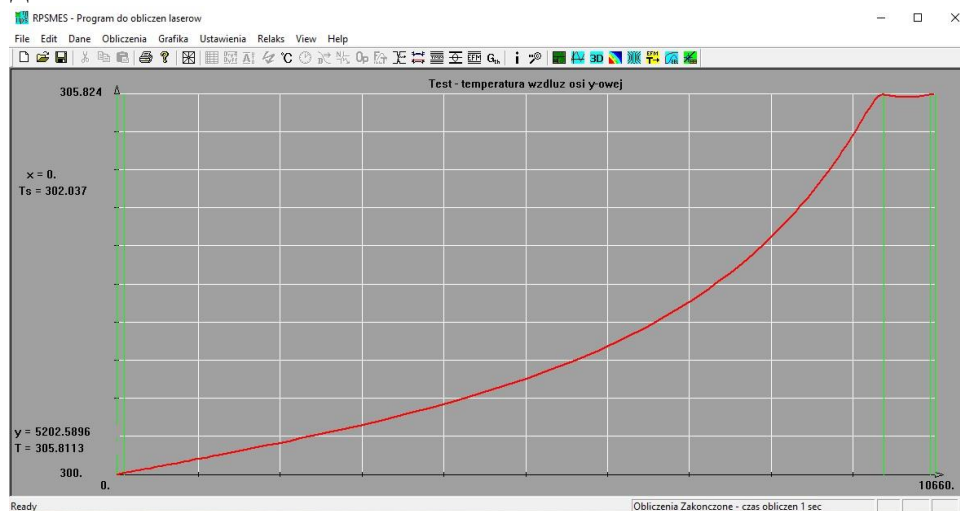


Рисунок 3. Графік підвищення температури протягом 10 хв

ВИСНОВОК

Дана симуляція була проведена для візуалізації процесу поширення тепла у шкірі і відтворення даних, отриманих в експериментальних дослідженнях.[3,4]

Розроблена симуляція не є точним моделюванням процесу поширення та розподілу тепла, так як параметри шкіри були взяті із досліджень [5]. Похибка моделювання не перевищувала 7,4%. До того ж, у кожної людини параметри і властивості біологічних тканин відрізняються, тож важко визначити якісь усереднені значення. Але ми можемо побачити досить подібну динаміку, якщо порівняємо результати процесу симуляції та отримані дані з проведених експериментів. [6,7]

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена, «Моніторинг зміни температур при лазерній терапії». Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", Серія приладобудування, №47, с.156-162, 2014.
- [2]Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко, «Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси у біологічних тканинах», Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія приладобудування. - Вип. 49. - с. 153-158, 2015.
- [3]О. Г. Шмендель, М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик та І. А. Данилюк, «Динаміка змін температурних параметрів у біологічних тканинах при дії лазерного випромінювання різних довжин хвиль». KPI SCIENCE NEWS, №5-6 (2019), с.87-94, 2019. DOI : 10.20535/kpi-sn.2019.5-6.188316
- [4]Методы математического моделирования в оптике биоткани: уч. пособ. / А. Е. Пушкарева. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 103 с.
- [5]M. Pirtini Cetingul, C. Herman. Identification of skin lesions from the transient thermal response using infrared imaging technique, IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, p.1219-1222, 2008.
- [6]Шмендель, О. Г. Процеси змін градієнтів температур в біологічних тканинах при дії лазерного випромінювання / О. Г. Шмендель, І. А. Данилюк, М. Ф. Терещенко // Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 337–340. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28142>.
- [7]О.Г. Шмендель, М.Ф. Терещенко «Сравнение взаимодействия лазерного излучения разных длин волн на разные типы кожи» на 11-я Междун. науч.техн. конф. Приборостроение – 2018, Минск, 2018. с. 408-409.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.